

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-086853

(43)Date of publication of application : 20.03.2003

(51)Int.Cl.

H01L 41/083

F02M 51/06

H01L 41/09

H01L 41/22

(21)Application number : 2002-050252

(71)Applicant : KYOCERA CORP

(22)Date of filing : 26.02.2002

(72)Inventor : NAKAMURA SHIGENOBU
ASHIDA KOKI

(30)Priority

Priority number : 2001052410

Priority date : 27.02.2001

Priority country : JP

2001195233

27.06.2001

JP

2001100381

30.03.2001

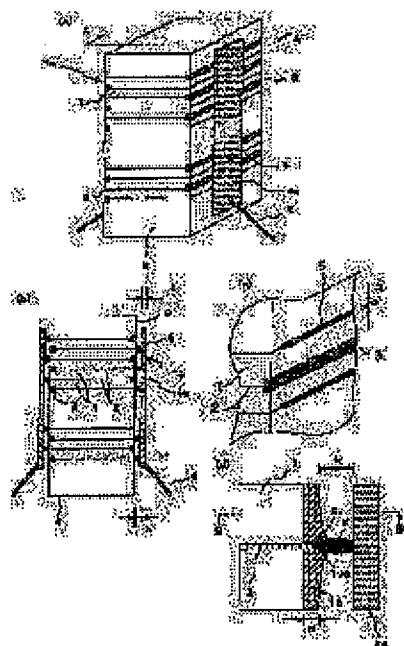
JP

(54) LAMINATED PIEZOELECTRIC ELEMENT, ITS MANUFACTURING METHOD, AND INJECTION EQUIPMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a laminated piezoelectric element in which disconnection does not occur between external electrodes and internal electrodes even when the element is continuously driven for a long period under a high-electric field and high-pressure condition and which is excellent in durability.

SOLUTION: This laminated piezoelectric element is provided with a columnar laminate 1a constituted by alternately laminating a plurality of piezoelectric layers 1 and a plurality of internal electrodes 2 upon another, and a pair of external electrodes 4 which are respectively provided on both side faces of the laminate 1a and to which the internal electrodes 2 are connected alternately at every other layer. Projecting conductive terminals 5 protruded from the side faces of the laminate 1a are provided at the end sections of the internal electrodes 2 at every other layer, and are bonded to the external electrodes 4 composed of plate-shaped conductive members 4a.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-86853

(P2003-86853A)

(43) 公開日 平成15年3月20日 (2003.3.20)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-リ-ド [*] (参考)
H 0 1 L 41/083		F 0 2 M 51/06	N 3 G 0 6 6
F 0 2 M 51/06		H 0 1 L 41/08	Q
H 0 1 L 41/09		41/22	Z
41/22		41/08	U

審査請求 有 請求項の数15 O L (全 14 頁)

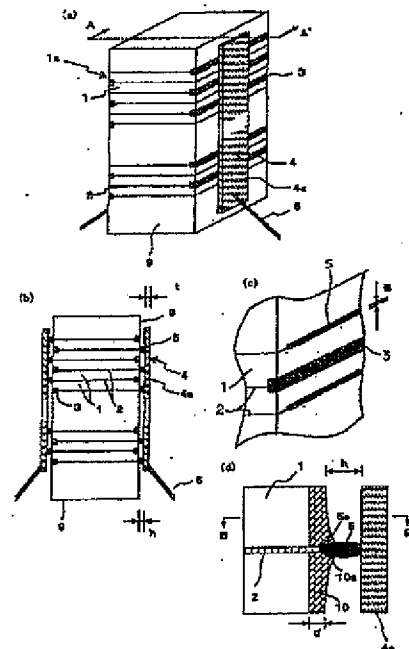
(21) 出願番号	特願2002-50252(P2002-50252)	(71) 出願人	000006633 京セラ株式会社 京都府京都市伏見区竹田島羽殿町6番地
(22) 出願日	平成14年2月26日 (2002.2.26)	(72) 発明者	中村 成信 鹿児島県国分市山下町1番1号 京セラ株式会社鹿児島国分工場内
(31) 優先権主張番号	特願2001-52410(P2001-52410)	(72) 発明者	芦田 幸喜 鹿児島県国分市山下町1番4号 京セラ株式会社総合研究所内
(32) 優先日	平成13年2月27日 (2001.2.27)	Fターム(参考)	3Q066 BA33 BA46 BA54 BA66 CC05U CE27
(33) 優先権主張国	日本 (J P)		
(31) 優先権主張番号	特願2001-195233(P2001-195233)		
(32) 優先日	平成13年6月27日 (2001.6.27)		
(33) 優先権主張国	日本 (J P)		
(31) 優先権主張番号	特願2001-100381(P2001-100381)		
(32) 優先日	平成13年3月30日 (2001.3.30)		
(33) 優先権主張国	日本 (J P)		

(54) 【発明の名称】 積層型圧電素子及びその製法並びに噴射装置

(57) 【要約】

【課題】 高電界、高圧力下で長期間連続駆動させた場合でも、外部電極と内部電極とが断線することがなく、耐久性に優れた積層型圧電素子を提供する。

【解決手段】 複数の圧電体1と複数の内部電極2とを交互に積層してなる柱状積層体1aと、該柱状積層体1aの側面に設けられ、内部電極2が一層おきに交互に接続された一対の外部電極4とを具備してなる積層型圧電素子であって、内部電極2の端部に一層おきに柱状積層体1aの側面から突出する突起状導電性端子5を設け、該突起状導電性端子5と、板状導電部材4aからなる外部電極4とを接合してなる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】複数の圧電体と複数の内部電極とを交互に積層してなる柱状積層体と、該柱状積層体の側面に設けられ、前記内部電極が一層おきに交互に接続された一対の外部電極とを具備してなる積層型圧電素子であって、前記内部電極の端部に一層おきに前記柱状積層体の側面から突出する突起状導電性端子を設け、該突起状導電性端子と、板状導電部材からなる外部電極とを接合してなることを特徴とする積層型圧電素子。

【請求項2】突起状導電性端子の根元部が、柱状積層体の側面に形成されたケイ素含有層に埋設されていることを特徴とする請求項1記載の積層型圧電素子。

【請求項3】ケイ素含有層の厚みが2～100 μ mであることを特徴とする請求項1又は2記載の積層型圧電素子。

【請求項4】突起状導電性端子の周りにケイ素含有層の隆起部が形成されていることを特徴とする請求項1乃至3のうちのいずれかに記載の積層型圧電素子。

【請求項5】各突起状導電性端子と外部電極とが、前記突起状導電性端子の先端長さの50%以上の部分で接合していることを特徴とする請求項1乃至4のうちのいずれかに記載の積層型圧電素子。

【請求項6】板状導電部材の厚みが50 μ m以下であることを特徴とする請求項1乃至5のうちのいずれかに記載の積層型圧電素子。

【請求項7】突起状導電性端子間における板状導電部材に、スリット又は凹溝が形成されていることを特徴とする請求項1乃至6のうちのいずれかに記載の積層型圧電素子。

【請求項8】板状導電部材と柱状積層体の側面との間に導電性樹脂が充填されていることを特徴とする請求項1乃至7のうちのいずれかに記載の積層型圧電素子。

【請求項9】板状導電部材の外面に導電性補助部材が設けられていることを特徴とする請求項1乃至8のうちのいずれかに記載の積層型圧電素子。

【請求項10】導電性補助部材が、導電性接着剤、導電性コイル、導電性液板、導電性繊維集合体のうち少なくとも1種からなることを特徴とする請求項9記載の積層型圧電素子。

【請求項11】突起状導電性端子と板状導電部材が銀を主成分とすることを特徴とする請求項1乃至10のうちのいずれかに記載の積層型圧電素子。

【請求項12】複数の圧電体と複数の内部電極とを交互に積層してなり、前記内部電極の端部が側面に露出した柱状積層体を作製する工程と、該柱状積層体の側面に、導電性金属粉末50～80体積%とケイ素を主成分とするガラス粉末20～50体積%とからなる固形成分を含有する導電性ペーストを塗布する工程と、該柱状積層体の側面に塗布された導電性ペーストを加熱し、前記内部電極の端部に前記柱状積層体の側面から突出する突起状

導電性端子を形成する工程と、該突起状導電性端子の先端部に板状導電部材からなる外部電極を接続する工程とを具備することを特徴とする積層型圧電素子の製法。

【請求項13】導電性ペーストを加熱して形成された突起状導電性端子の高さバラツキが、前記突起状導電性端子の平均高さの0.3倍以下であることを特徴とする請求項12記載の積層型圧電素子の製法。

【請求項14】複数の圧電体と複数の内部電極とを交互に積層してなり、前記内部電極の端部が側面に露出した柱状積層体を作製する工程と、該柱状積層体の側面と板状導電部材からなる外部電極との間で、一層おきの露出した内部電極の端部及びその近傍の圧電体表面を被覆するように、導電性金属粉末50～80体積%とケイ素を主成分とするガラス粉末20～50体積%とからなる固形成分を含有する導電性ペーストを介在させる工程と、該導電性ペーストを加熱して、前記内部電極の端部に一層おきに前記柱状積層体の側面から突出する突起状導電性端子を形成するとともに、該突起状導電性端子の先端部に前記外部電極を接合する工程とを具備することを特徴とする積層型圧電素子の製法。

【請求項15】噴射孔を有する収納容器と、該収納容器内に収容された請求項1乃至11のうちのいずれかに記載の積層型圧電素子と、該積層型圧電素子の駆動により前記噴射孔から液体を噴出させるバルブとを具備してなることを特徴とする噴射装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、積層型圧電素子及びその製法並びに噴射装置に関し、例えば、自動車用燃料噴射装置、光学装置等の精密位置決め装置や振動防止用の駆動素子等に用いられる積層型圧電素子及びその製法並びに噴射装置に関するものである。

【0002】

【従来技術】従来より、積層型圧電素子としては、圧電体と内部電極を交互に積層した積層型圧電アクチュエータが知られている。積層型圧電アクチュエータには、同時焼成タイプと、圧電磁器と内部電極板を交互に積層したスタックタイプとの2種類に分類されており、低電圧化、製造コスト低減の面から考慮すると、同時焼成タイプの積層型圧電アクチュエータが薄層化に対して有利であるために、その優位性を示しつつある。

【0003】図10は、従来の積層型圧電アクチュエータを示すもので、このアクチュエータでは、圧電体51と内部電極52が交互に積層されて柱状積層体53が形成され、その積層方向における両端面には不活性層55が積層されている。内部電極52は、その一方の端部が左右交互に絶縁体61で被覆され、その上から帯状外部電極70が内部電極52と左右各々一層おきに導通するように形成されている。帯状外部電極70上には、さらにリード線76が半田77により固定されている。

【0004】ところで、近年においては、小型の圧電アクチュエータで大きな圧力下において大きな変位量を確保するため、より高い電界を印加し、長期間連続駆動させることが行われている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記した圧電アクチュエータでは、高電界、高圧力下で長期間連続駆動させた場合、圧電体51間に形成された内部電極52と、正極、負極用の外部電極70との間で剥離が発生し、一部の圧電体51に電圧供給されなくなり、駆動中に変位特性が変化するという問題があった。

【0006】例えば、特開平4-237172号公報には、柱状積層体の側面に露出した内部電極の端部が、一層おきにガラスからなる絶縁層で被覆されるとともに、内部電極とその上下の圧電体が強固に接合され、内部電極の端部を絶縁する絶縁層が外部電極の凹部に収容されて、外部電極と内部電極との絶縁性が確保された積層型圧電アクチュエータが開示されているが、このような圧電アクチュエータでは、高電界、高圧力下で長期間連続駆動させた場合、ガラスからなる絶縁層に割れが生じ、この割れを介して内部電極と外部電極との間でショートが発生し、一部の圧電体に電圧が供給されなくなり、駆動中に変位特性が変化するという問題があった。

【0007】即ち、柱状積層体は、圧電体と内部電極との積層方向に伸縮するため、内部電極の端部およびその近傍の圧電体に設けられた高ヤング率のガラスからなる絶縁層が、長期間連続駆動による伸縮動作に耐えきれずに破壊され、この破壊部分を介して内部電極と外部電極間でショートが発生し易いという問題があった。

【0008】また、特開平7-283451号公報や特開平8-51240号公報などには、一層おきの内部電極の端部にメッキにより導電性凸部を形成することが開示されているが、該導電性凸部と積層体との接合強度が弱いために、駆動中に前記導電性凸部と内部電極端部が剥離し、圧電体の一部に電圧が供給されなくなり、変位特性が低下するといった問題があった。

【0009】本発明は、高電界、高圧力下で長期間連続駆動させた場合でも、外部電極と内部電極とが断線することがなく、耐久性に優れた積層型圧電素子及びその製法並びに噴射装置を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明の積層型圧電素子は、複数の圧電体と複数の内部電極とを交互に積層してなる柱状積層体と、該柱状積層体の側面に設けられ、前記内部電極が一層おきに交互に接続された一対の外部電極とを具備してなる積層型圧電素子であって、前記内部電極の端部に一層おきに前記柱状積層体の側面から突出する突起状導電性端子を設け、該突起状導電性端子と、板状導電部材からなる外部電極とを接合してなることを特徴とする。

【0011】本発明の積層型圧電素子では、内部電極の端部に一層おきに柱状積層体の側面から突出する突起状導電性端子を設け、該突起状導電性端子と、板状導電部材からなる外部電極とを接合したため、アクチュエータが積層方向に駆動すると、突起状導電性端子が変形してアクチュエータの伸縮によって生じる応力を吸収するため、高電界、高圧力下で長期間連続運転させた場合でも、外部電極と内部電極との断線を抑制することができ、耐久性を大幅に向上できる。

【0012】また、本発明では、突起状導電性端子の根元部が、柱状積層体の側面に形成されたケイ素含有層に埋設されていることを特徴とする。

【0013】このような積層型圧電素子では、突起状導電性端子の根元部が、柱状積層体の側面の圧電体表面に形成されたケイ素含有層に埋設しているため、ケイ素含有層が、柱状積層体の側面における圧電体表面に強固に接合しており、このケイ素含有層に突起状導電性端子の根元部が埋設され、これにより、突起状導電性端子を内部電極の端部に強固に接合したまま、保持することができ、高電界、高圧力下で長期間連続駆動させた場合でも、外部電極と内部電極とが断線することがなく、耐久性に優れた積層型圧電素子を提供することができる。

【0014】さらに、本発明では、ケイ素含有層の厚みが2~100 μ mであることが望ましい。これにより、突起状導電性端子を内部電極の端部にさらに強固に接合保持でき、外部電極と内部電極との断線をさらに抑制することができる。これは、ケイ素含有層の厚みを2 μ m以上とすることにより、突起状導電性端子と、内部電極、柱状積層体との接合強度を十分強固にすることができ、駆動中に突起状導電性端子が内部電極から剥離するといった問題が生じるのを防ぐことができ、また、厚みを100 μ m以下とすることにより、ケイ素含有層により圧電体の特性が低下することを防ぐことができる。

【0015】さらに、本発明では、突起状導電性端子の周りにケイ素含有層の隆起部が形成されていることが望ましい。ケイ素含有層の隆起部が突起状導電性端子を補佐することになり、突起状導電性端子と、内部電極、柱状積層体との接合強度をさらに強固なものとし、高電界下で連続に駆動させた場合でも、外部電極と内部電極が断線することなく、耐久性を大幅に向上することができる。

【0016】また、本発明では、各突起状導電性端子と外部電極とが、前記突起状導電性端子の先端長さの50%以上の部分で接合していることが望ましい。これは、突起状導電性端子と、板状導電部材からなる外部電極との接合が、各々の突起状導電性端子の先端長さの50%以上の部分で行われるので、突起状導電性端子と外部電極の接合部の抵抗を十分低くすることができ、大電流を流し高速で駆動させる場合においても、突起状導電性端子と外部電極の接合部において局所発熱が生じることが

なく、耐久性を大幅に向上させることができる。

【0017】さらに、本発明では、板状導電部材の厚みが $50\mu\text{m}$ 以下であることが望ましい。板状導電部材の厚みが $50\mu\text{m}$ よりも大きい場合には、板状導電部材がアクチュエータの伸縮に追従できずに板状導電部材と突起状導電性端子の間、若しくは突起状導電性端子と内部電極の間で断線を起こし易くなるからである。従って、板状導電部材の厚みを $50\mu\text{m}$ 以下とすることにより、アクチュエータを連続駆動させた場合にも、アクチュエータの伸縮に充分追従でき、外部電極と内部電極が断線するといった問題が生じるのを防ぐことができる。

【0018】また、本発明では、突起状導電性端子間における板状導電部材に、スリット又は凹溝が形成されていることが望ましい。板状導電部材からなる外部電極にスリット又は凹溝が形成されているので、柱状積層体の伸縮に対応して外部電極が容易に変形して追従でき、外部電極と突起状導電性端子との接続部、突起状導電性端子と内部電極との接続部に無理な荷重が作用せず、これにより、高電界、高圧力下で長期間連続駆動させた場合でも、外部電極と内部電極とが断線することがなく、耐久性を向上できる。

【0019】また、本発明では、板状導電部材と柱状積層体の側面との間に導電性樹脂が充填されていることが望ましい。柱状積層体の伸縮によって発生する繰り返し応力により、万が一板状導電部材が、そのスリット又は凹溝から破断したとしても、破断した外部電極片同士は導電性樹脂により接続されているため、内部電極に電界を印加できる。

【0020】さらに、本発明では、板状導電部材の外面に導電性補助部材を設けられていることが望ましい。板状導電部材の外側に導電性補助部材を設けることによりアクチュエータに大電流を投入し、高速で駆動させる場合においても、外部電極が局所発熱を起こし断線することを防ぐことができ、耐久性を大幅に向上させることができる。

【0021】さらに、本発明では、導電性補助部材が、導電性接着剤、導電性コイル、導電性波板、導電性繊維集合体のうち少なくとも1種からなることが望ましい。導電性補助部材が導電性接着剤からなる場合には、導電性補助部材としてフレキシブルな導電性接着剤を用いることにより、アクチュエータの伸縮に導電性補助部材が充分追従することができ、駆動中における導電性補助部材の断線を抑制できる。

【0022】導電性接着剤が、導電剤を分散させたポリイミド樹脂からなることが好ましい。この場合には、高耐熱性を有するポリイミド樹脂を該導電性接着剤のマトリックス成分とすることにより、高温で駆動させる場合においても該導電性接着剤が劣化することがなく、高耐久性を備えている積層型圧電素子を提供することができる。

【0023】また、導電性補助部材が導電性コイル、導電性波板、導電性繊維集合体であり、該導電性補助部材が板状導電部材に接合されていることが望ましい。この場合には、導電性補助部材がアクチュエータの伸縮に追従することができ、駆動中に該導電性補助部材が断線したり、該導電性補助部材と板状導電部材との間に応力を生じ、該導電性補助部材が剥離するといった問題が生じるのを防ぐことができ、耐久性を大きく向上させることができる。

【0024】さらに、本発明では、突起状導電性端子と板状導電部材が銀を主成分とすることが望ましい。これは、突起状導電性端子と板状導電部材の主成分を銀とすることにより、突起状導電性端子と内部電極の間、及び突起状導電性端子と板状導電部材の間の接合強度を強固にすることができ、アクチュエータを高電界下で駆動させた場合にも、外部電極と内部電極が断線することなく、耐久性を大きく向上させることができる。また、突起状導電性端子と板状導電部材の主成分をヤング率の低い銀とすることによりアクチュエータの駆動時に生じる応力を十分吸収することができ、外部電極と内部電極との断線を抑制できる。

【0025】さらに、本発明の積層型圧電素子の製法は、複数の圧電体と複数の内部電極とを交互に積層してなり、前記内部電極の端部が側面に露出した柱状積層体を作製する工程と、該柱状積層体の側面に、導電性金属粉末 $50\sim 80$ 体積％とケイ素を主成分とするガラス粉末 $20\sim 50$ 体積％とからなる固形成分を含有する導電性ペーストを塗布する工程と、該柱状積層体の側面に塗布された導電性ペーストを加熱し、前記内部電極の端部に前記柱状積層体の側面から突出する突起状導電性端子を形成する工程と、該突起状導電性端子の先端部に板状導電部材からなる外部電極を接続する工程とを具備する方法である。

【0026】このような方法によれば、柱状積層体の側面に、導電性金属粉末 $50\sim 80$ 体積％とケイ素を主成分とするガラス粉末 $20\sim 50$ 体積％とからなる固形成分を含有する導電性ペーストを塗布して、加熱することにより、ガラスが溶融し、溶融したガラス中に存在する導電性金属粒子が、内部電極の端部に集積し、柱状積層体の側面から突出する突起状導電性端子が形成されるとともに、柱状積層体の側面における圧電体表面に、拡散した圧電体の成分とケイ素を含むケイ素含有層（ガラス層）が形成され、このケイ素含有層により突起状導電性端子の根元部が埋設され、突起状導電性端子を内部電極端部に強固に接合することができる。

【0027】ここで、導電性ペーストを加熱して形成された突起状導電性端子の高さバラツキが、前記突起状導電性端子の平均高さの 0.3 倍以下であることが望ましい。これは、突起状導電性端子の高さバラツキを突起状導電性端子の平均高さの 0.3 倍以下とすることによ

り、該突起状導電性端子と、板状導電部材からなる外部電極との接続を確実強固なものとすることができ、駆動中に突起状導電性端子と外部電極が断線するといった問題が生じるのを防ぐことができる。なお、本発明において、突起状導電性端子の高さバラツキとは、各突起状導電性端子の最大高さと最小高さの差をいう。

【0028】また、本発明の積層型圧電素子の製法は、複数の圧電体と複数の内部電極とを交互に積層してなり、前記内部電極の端部が側面に露出した柱状積層体を作製する工程と、該柱状積層体の側面と板状導電部材からなる外部電極との間であって、一層おきの露出した内部電極の端部及びその近傍の圧電体表面を被覆するように、導電性金属粉末50～80体積%とケイ素を主成分とするガラス粉末20～50体積%とからなる固形成分を含有する導電性ペーストを介在させる工程と、該導電性ペーストを加熱して、前記内部電極の端部に一層おきに前記柱状積層体の側面から突出する突起状導電性端子を形成するとともに、該突起状導電性端子の先端部に前記外部電極を接合する工程とを具備する方法である。

【0029】このような方法によれば、柱状積層体の側面と板状導電部材からなる外部電極との間であって、一層おきの露出した内部電極の端部及びその近傍の圧電体表面を被覆するように、導電性金属粉末50～80体積%とケイ素を主成分とするガラス粉末20～50体積%とからなる固形成分を含有する導電性ペーストを介在させ、加熱することにより、ガラスが熔融し、熔融したガラス中に存在する導電性金属粒子が、内部電極の端部に集合し、柱状積層体の側面から突出する突起状導電性端子が形成されるとともに、該突起状導電性端子の先端部に外部電極に接合することができる。また、同時に柱状積層体の側面における圧電体表面にケイ素含有層が形成され、このケイ素含有層により突起状導電性端子の根元部が埋設され、突起状導電性端子を内部電極端部に強固に接合することができる。

【0030】本発明の噴射装置は、噴射孔を有する収納容器と、該収納容器内に収容された上記積層型圧電素子と、該積層型圧電素子の駆動により前記噴射孔から液体を噴出させるバルブとを具備するものである。

【0031】このような噴射装置では、上記したように、積層型圧電素子が、外部電極と内部電極との断線を抑制でき、耐久性を大幅に向上できるため、噴射装置の耐久性をも向上できる。

【0032】

【発明の実施の形態】図1は本発明の積層型圧電アクチュエータからなる積層型圧電素子の一形態を示すもので、(a)は斜視図、(b)は(a)のA-A'線に沿った縦断面図、(c)は(a)の一部を拡大して示す斜視図、(d)は内部電極と外部電極の接合部近傍の拡大図である。

【0033】積層型圧電アクチュエータは、図1に示す

ように、複数の圧電体1と複数の内部電極2とを交互に積層してなる四角柱状の柱状積層体1aの側面において、内部電極2の端部を一層おきに絶縁体3で被覆し、絶縁体3で被覆していない内部電極2の端部に、積層型圧電素子の伸縮方向に変形可能な突起状導電性端子5を設け、該突起状導電性端子5に板状導電部材4aからなる外部電極4を接合し、各外部電極4にリード線6を接続固定して構成されている。

【0034】圧電体1は、例えば、チタン酸ジルコン酸鉛 $Pb(Zr, Ti)O_3$ (以下PZTと略す)、或いはチタン酸バリウム $BaTiO_3$ を主成分とする圧電セラミックス材料等で形成されている。この圧電セラミックスは、その圧電特性を示す圧電歪み定数 d_{33} が高いものが望ましい。

【0035】また、圧電体1の厚み、つまり内部電極2間の距離は50～250 μm が望ましい。これは、積層型圧電アクチュエータは電圧を印加してより大きな変位量を得るために、積層数を増加させる方法がとられるが、積層数を増加させた場合に圧電体1の厚みが厚すぎるとアクチュエータの小型化、低背化ができなくなり、一方、圧電体1の厚みが薄すぎると絶縁破壊しやすいからである。

【0036】圧電体1の間には内部電極2が配されているが、この内部電極2は銀-パラジウム等の金属材料で形成されており、各圧電体1に所定の電圧を印加し、圧電体1に逆圧電効果による変位を起こさせる作用をなす。

【0037】また、突起状導電性端子5が形成された柱状積層体1aの側面に一層おきに深さ50～500 μm 、積層方向の幅30～200 μm の溝が形成されており、この溝内にガラス、エポキシ樹脂、ポリイミド樹脂、ポリアミドイミド樹脂、シリコーンゴム等が充填されて絶縁体3が形成されている。この絶縁体3は、柱状積層体1aとの接合を強固とするために、柱状積層体1aの変位に対して追従する弾性率が低い材料、具体的にはシリコーンゴム等からなることが好適である。

【0038】突起状導電性端子5と絶縁体3は、外部電極4が形成された柱状積層体1aの側面に露出した内部電極2に、交互に形成されている。

【0039】即ち、溝内に充填された絶縁体3により内部電極2の端部が互い違いに一層おきに絶縁され、内部電極2の絶縁されていない他方の端部は、突起状導電性端子5を介して板状導電部材4aからなる外部電極4と接合されている。

【0040】柱状積層体1aの対向する側面には、それぞれ板状導電部材4aからなる外部電極4が突起状導電性端子5を介して接続固定されており、該外部電極4には、積層されている内部電極2が一層おきに電気的に接続されている。この板状導電部材4aからなる外部電極4は、接続されている各内部電極2に圧電体1を逆圧電

効果により変位させるに必要な電圧を共通に供給する作用をなす。

【0041】さらに、外部電極4にはリード線6が半田により接続固定されている。このリード線6は外部電極4を外部の電圧供給部に接続する作用をなす。

【0042】そして、本発明では、上記したように板状導電部材4aからなる外部電極4が突起状導電性端子5を介して内部電極2と接続されている。このため、アクチュエータを高電界、高圧力下で長期間連続駆動させた場合でも、突起状導電性端子5がアクチュエータの伸縮によって生じる応力を吸収し、該外部電極4と内部電極2の断線を抑制することができ、耐久性に優れたアクチュエータを提供することができる。

【0043】後述するケイ素含有層から突出した突起状導電性端子5の積層方向と同一方向の幅Bは、図1

(c) に示すように、外部電極4と内部電極2との接続部の抵抗を低くし、且つアクチュエータの駆動時に生じる応力を十分に吸収するという点から、 $1\mu\text{m}$ 以上且つ圧電体1厚みの $1/2$ 以下であることが望ましい。特に、幅Bは $5\sim 25\mu\text{m}$ が望ましい。

【0044】また、ケイ素含有層から突出した突起状導電性端子5の突出高さhは、アクチュエータの伸縮によって生じる応力を十分に吸収するという点から、圧電体1厚みの $1/20$ 以上であることが望ましい。特に、突出高さhは、 $15\sim 50\mu\text{m}$ が望ましい。

【0045】さらに、板状導電部材4aの厚みtは、アクチュエータの伸縮に追従し、外部電極4と突起状導電性端子5の間、若しくは突起状導電性端子5と内部電極2の間で断線を生じないという点から、 $50\mu\text{m}$ 以下であることが望ましい。

【0046】また、突起状導電性端子5は、銀、ニッケル、銅、金、アルミニウム等の導電性を備えた金属及びそれらの合金からなり、アクチュエータの伸縮によって生じる応力を十分に吸収するという点から、ヤング率の低い銀、若しくは銀が主成分の合金が望ましい。

【0047】さらに、板状導電部材4aは、銀、ニッケル、銅、金、アルミニウム等の導電性を備えた金属及びそれらの合金からなり、このうち、突起状導電性端子5との接合強度が強く、ヤング率が低いという点から、銀、若しくは銀が主成分の合金が望ましい。

【0048】突起状導電性端子5と板状導電部材4aからなる外部電極4との接合は、荷重を加えた状態で $700\sim 950^\circ\text{C}$ で熱処理することにより、主成分である銀が突起状導電性端子5と板状導電部材4a間を相互に拡散し、いわゆる銀の拡散接合によってなされる。また、内部電極2と突起状導電性端子5の接合部はケイ素含有層10中に埋設しており、内部電極2を構成する銀-パラジウムと、突起状導電性端子5を構成する銀が相互に拡散し、連続的に内部電極2と突起状導電性端子5が接合されている。

【0049】即ち、本発明では、突起状導電性端子5の根元部5aが、柱状積層体1aの側面における圧電体1表面に形成されたケイ素含有層10に埋設され、突起状導電性端子5の先端部が板状導電部材4aからなる外部電極4に接続されている。

【0050】ここで、突起状導電性端子5の根元部5aは、内部電極2と突起状導電性端子5の接続部近傍における突起状導電性端子5の部分を意味するが、突起状導電性端子5を形成する銀と内部電極2を構成する銀-パラジウムが相互に拡散し、連続的に内部電極2と突起状導電性端子5が接続されているため、内部電極2の厚みよりも大きくなり始めた箇所が内部電極2と突起状導電性端子5の接続部となり、それよりも先端側が突起状導電性端子5の根元部5aとなる。

【0051】このケイ素含有層10の最小厚みdは、突起状導電性端子5と、内部電極2及び柱状積層体1aとの接合強度を強固なものにし、且つケイ素含有層10により圧電体1の特性が低下するのを防止するという点から、 $2\sim 100\mu\text{m}$ であることが望ましく、特に $5\sim 15\mu\text{m}$ が望ましい。このような厚みのケイ素含有層10を形成するためには、 $50\sim 80$ 体積%の銀等の導電性金属粉末と、残部がケイ素を主成分とし、軟化点 $600\sim 950^\circ\text{C}$ の $20\sim 50$ 体積%のガラス粉末とからなる固形成分に、バインダーを加えて導電性ペーストを作製し、該導電性ペーストを柱状積層体1aの側面に塗布し、ガラスの軟化点以上の温度、即ち $700\sim 950^\circ\text{C}$ で焼き付けを行うことにより達成できる。

【0052】ここで、ケイ素含有層10の厚みdが $2\mu\text{m}$ より小さい場合には、突起状導電性端子5と、内部電極2、柱状積層体1aとの接合強度が弱く、駆動中に該突起状導電性端子5が剥離し、内部電極2の一部に電圧が供給されなくなり変位特性が低下する傾向があり、一方、ケイ素含有層10の厚みdが $100\mu\text{m}$ より大きい場合には、絶縁体3を充填する溝を形成する工程で圧電体1にクラックが生じたり、圧電体1の圧電特性が低下したりする傾向があるからである。

【0053】ケイ素含有層10中のケイ素の分布は表面近傍が最も多く、内部側にいくほど、即ち深さが深くなるにつれ減少していき、逆に圧電体1を形成するPbは深さが浅くなるにつれ減少している。なお、ケイ素は圧電体1の内部においても少量の不純物若しくは添加物として存在するが、圧電体1内部の均一の分布状態で存在するケイ素の量が増加し始めるところから柱状積層体1a表面までの距離をケイ素含有層10の厚みdとする。

【0054】また、本発明では、突起状導電性端子5と内部電極2及び柱状積層体1aとの接合をさらに確実強固なものとするために、図1(d)に示すように、ケイ素含有層10が突起状導電性端子5を補佐するように、突起状導電性端子5の根元部5aの周りにはケイ素含有層10の隆起部10aが形成されている。即ち、突起状

導電性端子5の根元部5aはケイ素含有層10の隆起部10aに埋設されている。ケイ素含有層10の隆起部10aは、ケイ素含有層10の最小厚みdを有する部分からの高さが1〜5 μ mであることが望ましい。突起状導電性端子5の断面形状は、土筆状若しくはきのこ状が望ましい。

【0055】また、突起状導電性端子5のケイ素含有層10からの突出高さh、即ちケイ素含有層10の最小厚みdを有する部分から板状導電部材4aまでの距離は、アクチュエータの伸縮によって生じる応力を十分に吸収するという点から、圧電体1厚みの1/20以上であることが望ましい。特に突出高さhは、15〜50 μ mが望ましい。

【0056】さらに、本発明では、図2に示すように、各突起状導電性端子5と板状導電部材4aとが、前記突起状導電性端子5の先端長さLの50%以上の部分で接合されている。これにより、突起状導電性端子5と板状導電部材4aとの接合部の抵抗を十分低くし、大電流を流し高速度でアクチュエータを駆動させた場合においても、突起状導電性端子5と板状導電部材4aの接合部において、局所発熱が生じるのを防ぐことができる。特に、80%以上が好ましい。このように、各々の突起状導電性端子5と板状導電部材4aの接合を突起状導電性端子5の先端長さLの50%以上とするためには、突起状導電性端子5の作製時における突起状導電性端子5の高さバラツキを突起状導電性端子5の平均高さhの0.3倍以下とし、また、均一な荷重を印加した状態で700〜950℃で熱処理すればよい。

【0057】さらに、外部電極4にはリード線6が半田により接続固定されている。このリード線6は外部電極4を外部の電圧供給部に接続する作用をなす。

【0058】本発明の積層型圧電素子の製法について説明する。まず、柱状積層体1aを作製する。複数の圧電体1と複数の内部電極2とを交互に積層して成る柱状積層体1aは、PZT等の圧電セラミックスの仮焼粉末と、アクリル系、ブチラル系等の有機高分子から成るバインダーと、DBP（フタル酸ジブチル）、DOP（フタル酸ジブチル）等の可塑剤とを混合してスラリーを作製し、該スラリーを周知のドクターブレード法やカレンダーロール法等のテープ成型法により圧電体1となるセラミックグリーンシートを作製する。

【0059】次に、例えば、銀-パラジウム粉末にバインダー、可塑剤等を添加混合して導電性ペーストを作製し、これを前記各グリーンシートの上面にスクリーン印刷等によって1〜40 μ mの厚みに印刷する。

【0060】そして、上面に導電性ペーストが印刷されたグリーンシートを積層し、この積層体について所定の温度で脱バインダーを行った後、900〜1200℃で焼成することによって作製される。

【0061】その後、柱状積層体1aの対向する側面

に、図3(a)に示すように、例えば、粒径0.1〜10 μ mの銀粉末を50〜80体積%と、残部が粒径0.1〜10 μ mでケイ素を主成分とする軟化点が600〜950℃のガラス粉末20〜50体積%からなる混合物に、バインダーを加えて作製した銀ガラス導電性ペースト21を塗布し、ガラスの軟化点以上の温度の700〜950℃で焼き付けを行うことにより、銀ガラス導電性ペースト21中の銀が内部電極2端部に集合し、図3(b)に示すように、土筆状やきのこ状の突起状導電性端子5及びケイ素含有層10を形成することができる。

【0062】即ち、ペーストにガラス成分を分散させておくことにより、焼き付け時にガラスが軟化し、この状態において圧電体1には拡散しにくい銀が内部電極2の端部に拡散して寄り集まるため、図1(b)に示すような突起状導電性端子5を形成できる。

【0063】この突起状導電性端子5は柱状積層体1aの側面の一部に形成されており、レール状に形成され、その長さは板状導電部材4aからなる外部電極4の幅とほぼ同一とされている。尚、突起状導電性端子5の長さは、図2に示すように、外部電極4の幅よりも短くても良い。

【0064】銀ガラス導電性ペースト21中の銀粉末を50〜80体積%、残部のガラス粉末を20〜50体積%としたのは、銀粉末が50体積%より少ない場合には、突起状導電性端子5を構成する銀成分が少ないため、形成される突起状導電性端子5の突出高さhが小さくなり、一方銀粉末が80体積%よりも多い場合には、銀ガラス導電性ペースト21中の固形分残部であるガラス成分が相対的に少なくなるため、該銀ガラス導電性ペースト21の焼き付け時に溶融するガラス成分も必然的に少なくなり、銀成分が内部電極2端部に集合しにくくなり、突起状導電性端子5の突出高さhが低くなるためである。

【0065】また、特にケイ素含有層10の隆起部10aを有効に形成するには、銀ガラス導電性ペースト21中の銀粉末を60〜70体積%、ガラス粉末を30〜40体積%とするのが望ましい。

【0066】熱処理後の突起状導電性端子5の高さバラツキ（最大値-最小値）は、突起状導電性端子5と板状導電部材4aの接線を確実なものとするため、突起状導電性端子5の高さhの平均値の0.3倍以下であることが望ましく、特に、0.1倍以下が望ましい。なお、突起状導電性端子5の高さhのバラツキを突起状導電性端子5の高さhの平均値の0.3倍以下にするためには、該突起状導電性端子5を形成するために柱状積層体1a側面に予め塗布する銀ガラス導電性ペースト21の塗布厚みのバラツキを小さくすればよい。

【0067】上述のように突起状導電性端子5を形成した後、図3(c)に示すようにダイシング装置等により突起状導電性端子5の形成された柱状積層体1aの側面

に一層おきに溝を形成する。

【0068】その後、図3(d)に示すように、銀からなる板状導電部材4aを突起状導電性端子5に当接させ押圧して荷重を加え、700～950℃で熱処理することにより、主成分である銀が突起状導電性端子5と板状導電部材4a間を相互に拡散し、いわゆる銀の拡散接合によって接合される。

【0069】なお、この際に加える荷重は圧力にして、2～500kPaが望ましい。これは、圧力が2kPa以下の場合には、圧力が低いために突起状導電性端子5と板状導電部材4aとの間で拡散接合が十分になされずに、該接合部の強度が低くなり、一方、500kPa以上の場合には圧力が高すぎるために、突起状導電性端子5が変形してしまう恐れがあるためである。

【0070】その後、溝部に絶縁体3を充填し、リード線6を接続することにより本発明の積層型圧電素子が完成する。

【0071】なお、柱状積層体1aの側面に一層おきに溝を形成した後に、銀ガラス導電性ペースト21を塗布し、焼き付けを行い突起状導電性端子5を形成してもよい。

【0072】次に、本発明の積層型圧電素子の他の製法について説明する。上述と同様に柱状積層体1aを形成した後、該柱状積層体1aの側面に一層おきに溝を形成する。

【0073】その後、該柱状積層体1aの溝以外の柱状積層体1aに露出した内部電極2およびこの内部電極2の近傍の圧電体1表面に、上述と同様の銀ガラス導電性ペースト21を塗布乾燥し、この銀ガラス導電性ペースト21に板状導電部材4aを押圧するように荷重を加えた状態で700～950℃で熱処理することにより、銀ガラス導電性ペースト21中のガラスが熔融し、熔融したガラス中に存在する銀成分が内部電極2の端部に集合し、柱状積層体1aの側面から突出する突起状導電性端子5が形成されるとともに、該突起状導電性端子5の先端部を板状導電部材4aに接続することができる。

【0074】尚、予め、柱状積層体1aの溝以外の柱状積層体1aに露出した内部電極2およびこの内部電極2の近傍の圧電体1表面に対応する板状導電部材4aの部分に、銀ガラス導電性ペースト21を塗布乾燥し、この板状導電部材4aを柱状積層体1aに押圧するように荷重を加えた状態で熱処理してもよい。また、板状導電部材4aの全面に銀ガラス導電性ペーストを塗布乾燥し、この板状導電部材4aを、導電性ペースト塗布面側を柱状積層体1aの内部電極2が露出した面に押圧し、熱処理しても、突起状導電性端子5が形成し、その先端部を板状導電部材4aに接続することができる。この場合にはさらに工程を短縮することができる。

【0075】その後、溝部に絶縁体3を充填し、リード線6を接続することにより本発明の積層型圧電素子が完

成する。

【0076】そして、リード線6を介して一対の外部電極4に0.1～3kV/mmの直流電圧を印加し、柱状積層体1aを分極処理することによって、製品としての積層型圧電アクチュエータが完成し、リード線6を外部の電圧供給部に接続し、リード線6及び外部電極4を介して内部電極2に電圧を印加させれば、各圧電体1は逆圧電効果によって大きく変位し、これによって例えばエンジンに燃料を噴射供給する自動車用燃料噴射弁として機能する。

【0077】以上のように構成された積層型圧電素子は、板状導電部材4aからなる外部電極4が突起状導電性端子5を介して内部電極2と接続されているため、アクチュエータを高電界下、連続で駆動させた場合でも、突起状導電性端子5が変形して突起状導電性端子5が駆動時に生じる応力を十分に吸収できるため、外部電極4と内部電極2との間でスパークが生じるといった問題を防ぐことができ、高信頼性のアクチュエータを提供することができる。

【0078】図4は、板状導電部材に凹溝を形成した積層型圧電アクチュエータを示すもので、この積層型圧電アクチュエータでは、板状導電部材4aに、突起状導電性端子5間であって、内部電極2の端部とほぼ平行に凹溝11が形成されている。凹溝11は、突起状導電性端子5間にそれぞれ形成されており、その深さは板状導電部材4aの厚み方向の1/2以上の深さとされている。尚、凹溝11は、外部電極4の幅全体にわたって形成する必要はなく、幅方向に一部に形成しても良い。

【0079】また、柱状積層体1aの側面と板状導電部材4a間に導電性樹脂4bが充填され、板状導電部材4aの露出した面も導電性樹脂4bにより被覆されている。

【0080】以上のように構成された積層型圧電アクチュエータは、外部電極4に凹溝11が形成されているので、柱状積層体1aの伸縮に対応して外部電極4が容易に変形して追従でき、外部電極4と突起状導電性端子5との接続部、突起状導電性端子5と内部電極2との接続部に無理な荷重が作用せず、これにより、高電界、高圧力下で長期間連続駆動させた場合でも、外部電極4と内部電極2とが断線することがなく、耐久性を向上できる。

【0081】さらに、柱状積層体1aの伸縮によって発生する繰返し応力により、万が一板状導電部材4aからなる外部電極4が凹溝11から破断したとしても、破断した外部電極4片同士は導電性樹脂4bにより接続されているため、内部電極2に電界を印加できる。

【0082】図5は、板状導電部材にスリットを形成した積層型圧電アクチュエータを示すもので、この積層型圧電アクチュエータでは、板状導電部材4aに、一方側の端面から所定長さでスリット13が形成されている。

このスリット13の長さは、板状導電部材4aの幅の2/3以上の長さとしてされている。また、柱状積層体1aの側面と板状導電部材4a間に導電性樹脂4bが充填され、板状導電部材4aの露出した面も導電性樹脂4bにより被覆されている。

【0083】このような積層型圧電アクチュエータであっても、上記図4に示した積層型圧電アクチュエータと同様の効果を得ることができる。尚、作製時に、スリット13を板状導電部材4aからなる外部電極4の幅方向に全体にわたって形成、即ち、予め板状導電部材4aからなる外部電極4を、突起状導電性端子5間で分断しておいても良い。

【0084】尚、外部電極4に形成される凹溝11やスリット13は、板状導電部材4aを柱状積層体1aの突起状導電性端子5に接合した後に形成しても良いし、板状導電部材4aを突起状導電性端子5に接合する前に形成しても良いが、板状導電部材4aの突起状導電性端子5への接合工程の作業性を考慮すると、板状導電部材4aを突起状導電性端子5に接合した後に形成することが望ましい。

【0085】さらに、本発明では、図6に示すように、板状導電部材4aからなる外部電極4の外側に導電性補助部材7を形成しても良い。この場合には、板状導電部材4aの外面に導電性補助部材7を設けることによりアクチュエータに大電流を投入し、高速で駆動させる場合においても、大電流を導電性補助部材7に流すことができ、外部電極4に流れる電流を低減できるという理由から、外部電極4が局所発熱を起こし断線することを防ぐことができ、耐久性を大幅に向上させることができる。

【0086】なお、導電性補助部材7はアクチュエータの伸縮に追従し、駆動中に該導電性補助部材7の断線を防ぐ点から、フレキシブルな導電性接着剤7aによって形成されていることが好ましい。また、導電性接着剤7aにクラックが生じるのを防ぐという点から、金属等のメッシュ若しくはメッシュ状の金属板を該導電性接着剤7aに埋設しても良い。

【0087】さらに、前記導電性接着剤7aは高温で駆動させる場合においても劣化しないという点から、高耐熱を有するポリイミド樹脂に導電剤を分散させたものが望ましい。

【0088】また、本発明では、図7(a)、(b)、(c)に示すように、導電性コイル7b、若しくは導電性波板7c、若しくは導電性繊維集合体(ワール状)7dにより導電性補助部材7を形成しても良い。この場合には、導電性補助部材7がアクチュエータの伸縮に追従することができ、駆動中に該導電性補助部材7が断線したり、該導電性補助部材7と外部電極4との間に応力を生じ、該導電性補助部材7が剥離するといった問題を防ぐことができ、耐久性を大きく向上させることができる。なお、前記導電性補助部材7と外部電極4との接続

は、ロウ材による接合や、導電性接着剤による接合が好ましい。

【0089】導電性補助部材7としては、抵抗値及びヤング率が低く、伸縮性に富み、また、アクチュエータの断面積を小さくできるという点から、材質が銀の導電性波板7cが望ましい。

【0090】本発明の積層型圧電素子はこれらに限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲であれば種々の変更は可能である。

【0091】また、上記例では、柱状積層体1aの対向する側面に外部電極4を形成した例について説明したが、本発明では、例えば隣接する側面に一対の外部電極を形成してもよい。

【0092】図8は、本発明の噴射装置を示すもので、図において符号31は収納容器を示している。この収納容器31の一端には噴射孔33が設けられ、また収納容器31内には、噴射孔33を開閉することができるニードルバルブ35が収容されている。

【0093】噴射孔33には燃料通路37が連通可能に設けられ、この燃料通路37は外部の燃料供給源に連結され、燃料通路37に常時一定の高圧で燃料が供給されている。従って、ニードルバルブ35が噴射孔33を開放すると、燃料通路37に供給されていた燃料が一定の高圧で内燃機関の図示しない燃料室内に噴出されるように形成されている。

【0094】また、ニードルバルブ35の上端部は直径が大きくなっており、収納容器31に形成されたシリンダ39と摺動可能なピストン41となっている。そして、収納容器31内には、上記した圧電アクチュエータ43が収納されている。

【0095】このような噴射装置では、圧電アクチュエータ43が電圧を印加されて伸長すると、ピストン41が押圧され、ニードルバルブ35が噴射孔33を閉塞し、燃料の供給が停止される。また、電圧の印加が停止されると圧電アクチュエータ43が収縮し、皿バネ45がピストン41を押し返し、噴射孔33が燃料通路37と連通して燃料の噴射が行われるようになっている。

【0096】

【実施例】実施例1

まず、柱状積層体を作製した。圧電体は厚み150 μ mのPZTで形成し、内部電極は厚み3 μ mの銀-パラジウム合金によって形成し、圧電体及び内部電極の各々の積層数は300層とした。

【0097】次に、平均粒径5 μ mの銀粉末を60体積%と、残部が平均粒径5 μ mのケイ素を主成分とし、アルミニウムを含む軟化点が750℃の硼珪酸ガラス粉末40体積%との混合物にバインダーを加え、十分に混合して、銀ガラス導電性ペーストを作製し、図3(a)に示すように、前記柱状積層体の側面に該銀ガラス導電性ペーストを塗布し、800℃で焼き付け、図3(b)に

示すように、柱状積層体の側面に露出した内部電極の端部に突起状導電性端子を形成するとともに、突起状導電性端子の根元部を埋設するケイ素含有層を形成した。

【0098】この後、図3(c)に示すように、突起状導電性端子を含む内部電極の端部一層おきに、深さ150 μ m、幅50 μ mの溝を形成した後、図3(d)に示すように、銀からなる厚み25 μ mの板状導電部材を、突起状導電性端子に30kPaで押圧し900℃で接合した。

【0099】その後、溝部に絶縁体としてシリコンゴムを充填し、板状導電部材にリード線を接続した。

【0100】その後、正極及び負極の外部電極にリード線を介して3kV/mmの直流電界を15分間印加して分極処理を行い、図1に示すような積層型圧電アクチュエータを作製した。

【0101】なお、突起状導電性端子には、銀とパラジウムが分散していた。また、突起状導電性端子の形成された柱状積層体の表面にはケイ素と鉛を含有する厚み10 μ mのケイ素含有層（ガラス層）が形成され、前記突起状導電性端子の根元部にはケイ素含有層の隆起部が形成されていた。また、このときの突起状導電性端子の積層方向と同一方向の幅Bは10 μ m、高さhは平均で20 μ mで、高さバラツキは2 μ mであった。なお、ケイ素含有層の厚みdは、X線回折測定においてSi元素が実質的に存在しなくなる部分からの厚みとして算出した。

【0102】また、各突起状導電性端子と板状導電部材

からなる外部電極とは、突起状導電性端子の先端長さの85%以上で接合されていた。この接合割合は、突起状導電性端子から外部電極を剥離し、接合していた部分と接合していない部分の長さ比で算出した。

【0103】得られた積層型圧電アクチュエータに150Vの直流電圧を印加した結果、積層方向に40 μ mの変位量が得られた。さらに、このアクチュエータに室温で0～+150Vの交流電圧を120Hzの周波数にて印加し駆動試験を行った結果、 1×10^8 サイクルまで駆動したところ40 μ mの変位量が得られ、外部電極の異常は見られなかった。表1のサンプルNo. 1に記載する。

実施例2

次に、突起状導電性端子の幅Bと高さh及び板状導電部材の厚みtを表1に示すように変化させた以外は、実施例1と同様の構成の積層型圧電アクチュエータ（サンプルNo. 2～No. 7）を作製した。なお、サンプルNo. 8は銀を分散させたガラスペーストを塗布し、熱処理して外部電極を形成したものである。

【0104】得られた積層型圧電アクチュエータに室温で150Vの交流電圧を120Hzの周波数にて印加し、駆動試験を行った。初期に得られた変位量はすべてのサンプル（No. 1～8）において40 μ mであった。得られた結果を表1に示す。

【0105】

【表1】

サンプル No.	突起状導電 性端子部の 幅B	突起状導電 性端子部の 高さh	板状導電部 材の厚みt	1×10^8 サイ クルまで駆動	1×10^8 サイ クルまで駆動
1	10 μ m	20 μ m	25 μ m	異常なし	異常なし
2	1 μ m	7.5 μ m	25 μ m	異常なし	異常なし
3	75 μ m	20 μ m	25 μ m	異常なし	異常なし
4	80 μ m	20 μ m	25 μ m	異常なし	変位量が1/2 に低下
5	10 μ m	6 μ m	25 μ m	異常なし	変位量が2/3 に低下
6	10 μ m	20 μ m	50 μ m	異常なし	異常なし
7	10 μ m	20 μ m	80 μ m	異常なし	変位量が3/5 に低下
*8	外部電極を銀ガラスにて形成			1×10^8 サイ クルで外部電極 スパーク	—

*印は本発明の範囲外である。

【0106】サンプルNo. 8の銀ガラスにて外部電極を形成したサンプル以外の全てのサンプルにおいて、 1×10^8 サイクルまで駆動したところ40 μ mの変位が得られ、外部電極の異常は見られなかった。外部電極を銀ガラスにて形成したサンプルNo. 8の場合、銀ガラスでできた外部電極がアクチュエータの伸縮に追従できず、外部電極と内部電極の間に剥離が生じ、短時間の間に外部電極がスパークしてしまった。一方、突起状導電性端子と板状導電部材からなる外部電極を形成したサ

ンプルNo. 1～7の場合においては、 1×10^8 サイクルまで駆動しても、突起状導電性端子がアクチュエータの伸縮に追従できるため、外部電極に破損等の異常は見られなかった。

【0107】さらに駆動を継続したところ、突起状導電性端子の幅を75 μ m以下、高さhを7.5 μ m以上、板状導電部材の厚みtを50 μ m以下としたサンプルNo. 1、2、3、6は外部電極と内部電極の接合部の抵抗が十分低く且つ、アクチュエータの伸縮によって生じ

る応力を十分に吸収することができるため、高速で 1×10^5 サイクル連続駆動した場合においても変位量はほとんど減少することなく、また、外部電極に異常は見られなかった。

実施例3

次に、板状導電部材の外部に表2に示す導電性補助部材を設けた以外は実施例1と同様の構成の積層型圧電アクチュエータを作製した。なおサンプルNo. 1は実施例1のサンプルを示す。

【0108】得られた積層型圧電アクチュエータに室温で150Vの交流電圧を120Hzの周波数にて印加

し、駆動試験を行った。初期に得られた変位量はすべてのサンプル(No. 1、9~12)において $40 \mu\text{m}$ であった。また、同条件で 1×10^5 サイクルまで駆動試験を行ったところ、すべてのサンプル(No. 1、9~12)において異常は見られなかった。

【0109】次に、更に厳しい条件での駆動を行うため、室温で200Vの交流電圧を240Hzの周波数にて印加し、駆動試験を行った。結果を表2に示す。

【0110】

【表2】

サンプル No.	補助部材	150V、120Hz 駆動	200V、240Hz 駆動
1	なし	1×10^5 サイクル まで異常なし	1×10^5 サイクルで 変位量4/5に低下
9	銀分散ポリイミドからなる 導電性接着剤	1×10^5 サイクル まで異常なし	1×10^5 サイクル まで異常なし
10	りん青銅導電性ニール	1×10^5 サイクル まで異常なし	1×10^5 サイクル まで異常なし
11	絶縁性基板	1×10^5 サイクル まで異常なし	1×10^5 サイクル まで異常なし
12	ニッケル導電性繊維集合体	1×10^5 サイクル まで異常なし	1×10^5 サイクル まで異常なし

【0111】この表2から、サンプルNo. 1はアクチュエータを高速で駆動させる場合に投入される大きな電流に対して、外部電極が局所発熱を起こし、外部電極内部の一部で断線が生じ、変位量が減少してしまっている。

【0112】一方、外部電極の外側に導電性補助部材が形成してあるサンプルNo. 9~11は、アクチュエータに大電流を投入し、高速で連続駆動させる場合においても、外部電極の抵抗が十分に低いため、外部電極内で局所発熱を起こしたり、外部電極が断線したりすることのないため、 1×10^5 サイクルまで駆動しても異常は見られなかった。

実施例4

次に、突起状導電性端子の形成に用いる銀ガラスペース

ト中の銀粉末とガラス粉末の混合比及びガラスの軟化点、及び該銀ガラスペーストの塗布量を変化させる以外は、上記実施例1と同様に、ケイ素含有層の厚み d 、突起状導電性端子の高さ h 、隆起部のケイ素含有層からの高さを変えた圧電アクチュエータを作製し、表3に記載した。尚、各突起状導電性端子と板状導電部材とは、突起状導電性端子の先端長さの85%以上で接合されていた。

【0113】得られた積層型圧電アクチュエータに室温で0~+150Vの交流電圧を120Hzの周波数にて印加し駆動試験を行った。得られた結果を図9に示す。

【0114】

【表3】

試料 No	銀粉末 vol%	ガラス粉末 vol%	ガラスの 軟化点 ℃	突起状導電 性端子高さ h μm	ケイ素含有 層厚み d μm	ケイ素含有 層の隆起部 高さ μm
13	40	60	750	5	120	1
14	50	50	750	15	50	3
15	60	40	750	25	15	5
16	70	30	750	30	10	3
17	80	20	750	15	2	1
18	90	10	750	5	1	なし
19	60	40	680	40	80	5
20	60	40	830	10	4	1

【0115】図9から、ケイ素含有層の厚み d が2~100 μm の試料では、高速で連続駆動させた場合でも、内部電極と外部電極の間で断線したり、スパークしたりするといった問題が生じることなく、高信頼性を備えていることが判る。

【0116】

【発明の効果】本発明の積層型圧電素子によれば、内部電極の端部に一層おきに柱状積層体の側面から突出する突起状導電性端子を設け、該突起状導電性端子と、板状

導電部材からなる外部電極とを接合したので、積層型圧電素子の伸縮によって生じる応力を十分に吸収することができ、外部電極と内部電極の間の接点不良や、外部電極が断線するといった問題を防ぐことができ、高信頼性を備えた積層型圧電素子を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の積層型圧電素子を示すもので、(a)は斜視図、(b)は(a)のA-A'線に沿った縦断面図、(c)は(a)の一部を拡大して示す斜視図、

(d)は(b)の一部を拡大して示す断面図である。

【図2】突起状導電性端子の先端部と板状導電部材との接合状態を説明するための図1(c)のB-B'線に沿った断面図である。

【図3】本発明の積層型圧電素子の製造方法を示す概略図である。

【図4】板状導電部材に凹溝を形成した積層型圧電アクチュエータを示すもので、(a)は斜視図、(b)は(a)のA-A線に沿った縦断面図である。

【図5】板状導電部材にスリットを形成した積層型圧電アクチュエータを示すもので、(a)は斜視図、(b)は(a)のA-A線に沿った縦断面図である。

【図6】導電性補助部材を形成した積層型圧電素子を示すもので、(a)は斜視図、(b)は(a)のA-A'線に沿った断面図である。

【図7】(a)はコイル状の導電性補助部材、(b)は波板状の導電性補助部材、(c)はウール状の導電性補助部材を用いた場合の本発明の積層型圧電素子の縦断面図である。

【図8】本発明の噴射装置を示す説明図である。

【図9】実施例4の駆動試験の結果を示すグラフである。

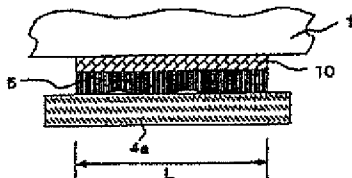
【図10】従来の積層型圧電アクチュエータの縦断面図

である。

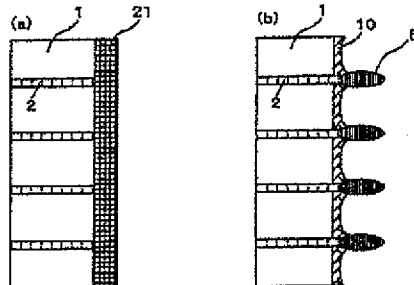
【符号の説明】

- 1・・・圧電体
- 1a・・・柱状積層体
- 2・・・内部電極
- 4・・・外部電極
- 4a・・・板状導電部材
- 4b・・・導電性樹脂
- 5・・・突起状導電性端子
- 5a・・・根元部
- 7・・・導電性補助部材
- 7a・・・導電性接着剤
- 7b・・・導電性コイル
- 7c・・・導電性波板
- 7d・・・導電性繊維集合体
- 10・・・ケイ素含有層
- 10a・・・隆起部
- 11・・・凹溝
- 13・・・スリット
- 31・・・収納容器
- 33・・・噴射孔
- 35・・・バルブ
- 43・・・圧電アクチュエータ

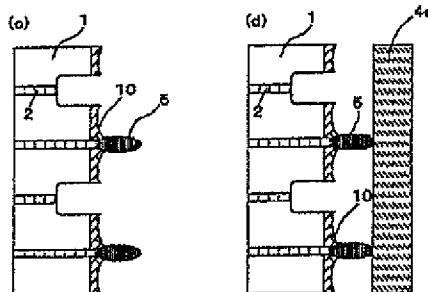
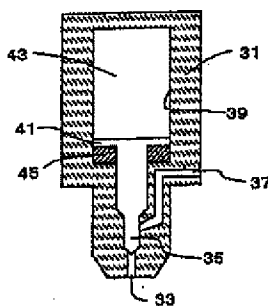
【図2】



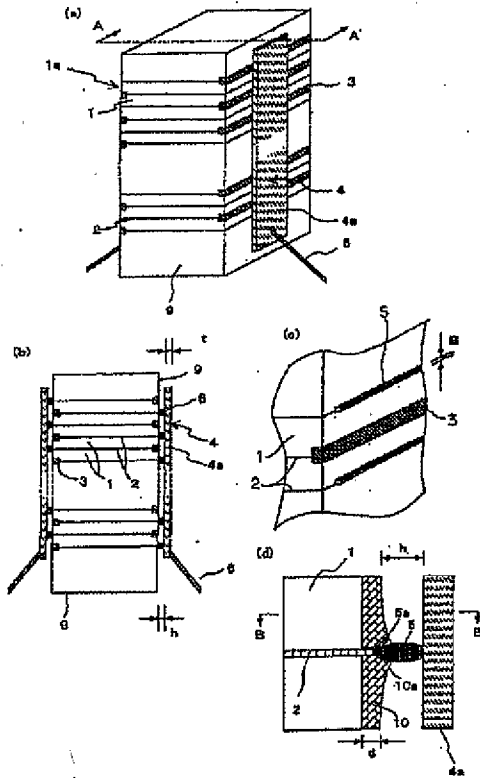
【図3】



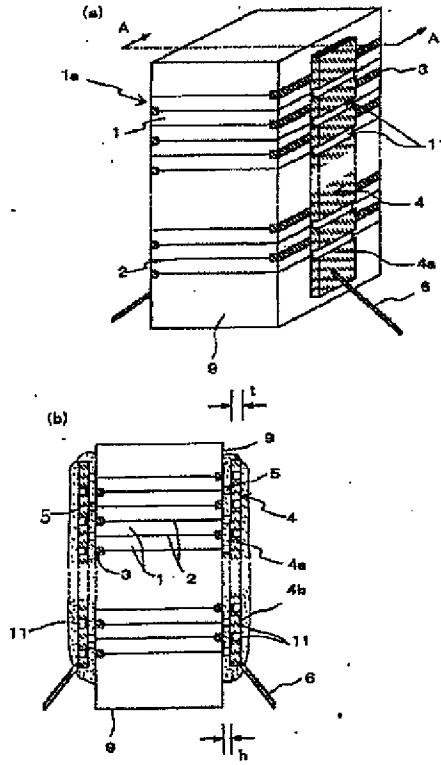
【図8】



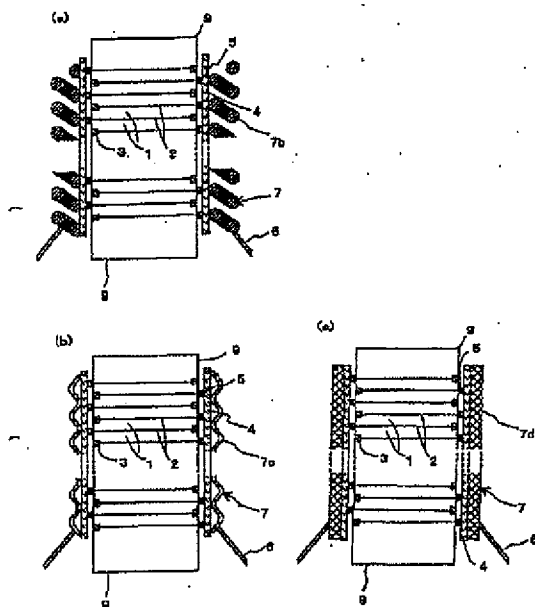
【図1】



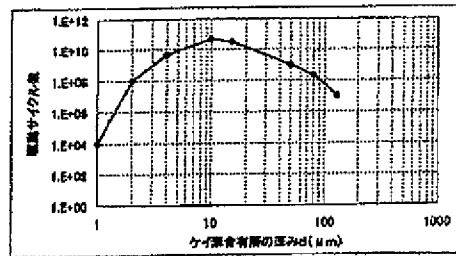
【図4】



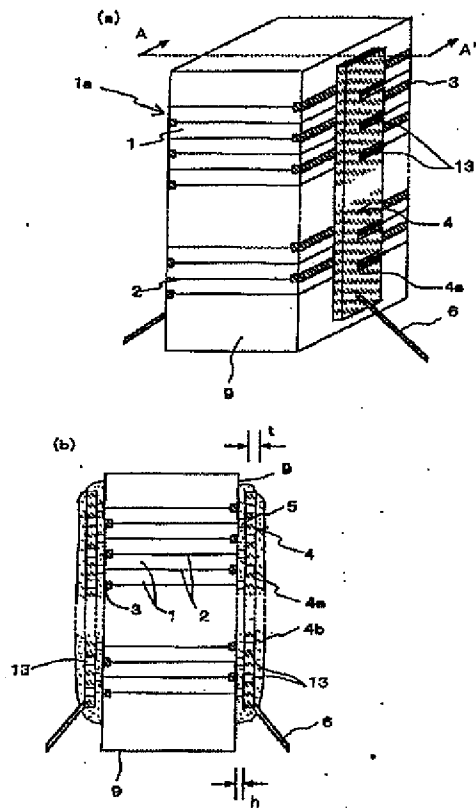
【図7】



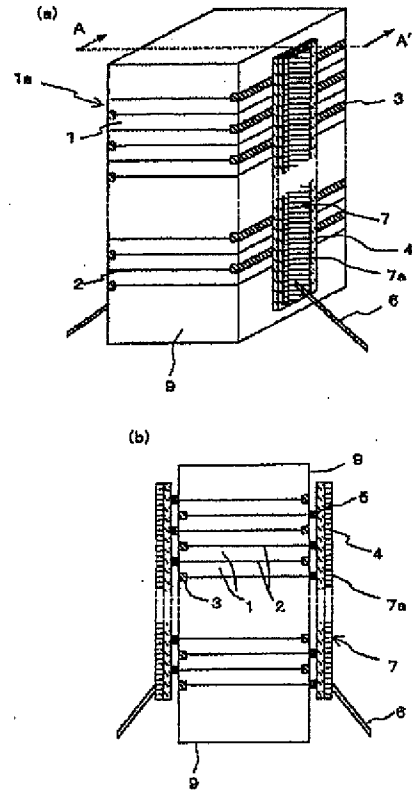
【図9】



【図5】



【図6】



【図10】

